

PARÂMETROS DE QUALIDADE DE FILÉS DE PEIXE REFRIGERADOS E EMBALADOS SOB ATMOSFERA MODIFICADA

QUALITY PARAMETERS OF CHILLED AND PACKED FISH FILLETS UNDER MODIFIED ATMOSPHERE

Rafaela Cristina Alves Barata¹
Consuelo Lúcia Sousa de Lima²
Alberdan Silva Santos³
Ana Caroline Pereira da Silva⁴
Lúcia de Fátima Henriques Lourenço⁵

RESUMO: O uso de embalagens com atmosfera modificada em produtos de peixe facilita a manutenção do frescor, a segurança alimentar e o aumento da estabilidade comercial. O objetivo desta pesquisa foi avaliar os parâmetros de qualidade de filés de *Macrodon ancylodon* embalados em atmosfera modificada e armazenados a 2°C. As alterações foram acompanhadas por meio da avaliação sensorial, com aplicação do Método de Índice de Qualidade (QIM), determinação do pH, bases voláteis nitrogenadas totais (N-BVT), quantificação das aminas biogênicas, cor instrumental, composição gasosa das embalagens e análises microbiológicas. Foram elaborados produtos de filés de *M. ancylodon* embalados em atmosferas a vácuo (V) e com misturas gasosas de 50% CO₂/50% N₂ (G1), 60% CO₂/40% N₂ (G2) e 70% CO₂/30% N₂ (G3). A dissolução do CO₂ na fase aquosa do músculo dos filés nos primeiros dias de estocagem foi influenciada pelo teor desse gás nas embalagens e ocasionou as principais alterações nos parâmetros de qualidade avaliados. As principais alterações sensoriais nos produtos G2 e G3 foram a cor, o odor e as mudanças no aspecto do muco dos filés. Os efeitos bacteriostáticos do CO₂ sobre o crescimento dos micro-organismos deteriorantes prolongaram a estabilidade comercial do produto G3. A perda de frescor dos produtos pelo aumento do pH, acúmulo de N-BVT e quantidade de putrescina e cadaverina também foi influenciado pela composição da mistura gasosa nos produtos. A correlação entre os parâmetros avaliados indicou que a estabilidade comercial dos produtos foi de seis dias para G2 e dez dias para G3.

Palavras-chave: teor de CO₂; *Macrodon ancylodon*; parâmetros de qualidade.

ABSTRACT: The use of modified atmosphere packaging in fish products facilitates maintaining freshness, food safety, and increasing commercial stability. The aim of this research was to evaluate the quality parameters of *Macrodon ancylodon* fillet products packaged in modified atmospheres and stored at 2°C. The changes were monitored through sensory evaluation using the Quality Index Method (QIM), pH determination, total volatile basic nitrogen (TVB-N) analysis, quantification of biogenic amines, instrumental color measurement, gas composition analysis of the packages, and microbiological analyses. Fillet products of *M. ancylodon* were packaged in vacuum atmospheres (V) and gas mixtures of 50% CO₂/50% N₂ (G1), 60% CO₂/40% N₂ (G2), and 70% CO₂/30% N₂ (G3). The dissolution of CO₂ in the aqueous phase of the fillet muscle during the first days of storage was influenced by the gas content in the packages and caused the main changes in the evaluated quality parameters. The main sensory alterations in G2 and G3 products were color, odor, and changes in the appearance of the fillet mucus. The bacteriostatic effects of CO₂ on the growth of spoilage microorganisms extended the commercial stability of the G3 product. The loss of freshness in the products, indicated by

1 Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos
Universidade Federal Rural da Amazônia
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0172181440518624>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-9979>
E-mail: rafaela.balves@gmail.com

2 Doutora em Ciências Biológicas
Universidade Federal do Pará
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2971385954203459>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9432-8637>
E-mail: sousa@ufpa.br

3 Doutor em Bioquímica
Universidade Federal do Pará
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5976702134131016>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6357-8094>
E-mail: alberdan@ufpa.br

4 Doutoranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos
Universidade Federal do Pará
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0329825883247791>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8595-1977>
E-mail: engcaroline2017@gmail.com

5 Doutora em Ciências Biológicas
Universidade Federal do Pará
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7365554949786769>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5009-8235>
E-mail: luciahl@ufpa.br

increased pH, accumulation of TVB-N, putrescine, and cadaverine, was also influenced by the gas mixture composition. The correlation between the evaluated parameters indicated a commercial stability of 6 days for G2 and 10 days for G3.

Keywords: *CO₂ content; Macrodon ancylodon; quality parameters.*

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, houve o desenvolvimento de técnicas inovadoras na área de embalagens de alimentos para suprir a necessidade de manutenção da segurança e no aumento da vida de prateleira de produtos alimentícios, correspondendo às exigências dos consumidores assim como, as questões ambientais (Santos e Oliveira, 2012; Souza *et al.*, 2017). Entre essas tecnologias, destaca-se a embalagem com atmosfera modificada (EAM), que tem sido objeto de muitos estudos, principalmente relacionados à conservação de alimentos refrigerados, de baixa acidez, perecíveis ou semi-perecíveis (Viana *et al.*, 2016; Pino-Hernandez *et al.*, 2017; Sun *et al.*, 2017).

A EAM, junto a refrigeração, é uma técnica branda de preservação, visto que além de manter as características nutricionais dos alimentos, prolonga sua vida de prateleira. O aumento da vida de prateleira de alimentos está relacionado, sobretudo, ao efeito dos gases da embalagem com atmosfera modificada, que se baseia no aumento da concentração de CO₂ que retarda o desenvolvimento de microrganismos patogênicos e deteriorantes e da redução e/ou remoção do O₂ (Babic *et al.*, 2015).

A EAM tem sido amplamente utilizada em produtos proteicos refrigerados, tais como carnes e peixes, pois o prazo de validade desses produtos pode ser prolongado pela utilização de vácuo na embalagem ou pela introdução de um único gás ou de uma mistura gasosa (CO₂, N₂ e O₂). Na última década, as combinações gasosas de CO₂ e N₂ foram as misturas mais comumente estudadas para embalagens de peixes (Babic *et al.*, 2015; Kuuliala *et al.*, 2018; Antunes-Rohling *et al.*, 2019).

O CO₂ é considerado um agente bacteriostático e não bactericida, agindo por meio de mecanismos pouco compreendidos, como a alteração da função da membrana celular (incluindo a absorção de nutrientes) e a diminuição na taxa de reações enzimáticas mediante alterações do pH intracelular (Fernández *et al.*, 2010; Babic *et al.*, 2015). Além disso, tem sido observado que variações da concentração de CO₂ influenciam no crescimento de bactérias, e as mais tolerantes a altas concentrações desse gás são as gram-positivas (Powell *et al.*, 2015). Dessa forma, quanto maior a presença de CO₂ na embalagem, pode resultar em menor produção de aminas (que são responsáveis por odores e sabores desagradáveis), levando à não percepção das alterações sensoriais em produtos de peixe (Milne *et al.*, 2014).

É importante ressaltar que algumas medidas devem ser adotadas para garantir os efeitos benéficos da EAM, como o uso associado de temperaturas mais baixas, o que melhora a dissolução do CO₂ (Powell *et al.*, 2015). Assim como a utilização de matéria-prima de boa qualidade, com baixa contagem de bactérias, pode des-

favorecer a produção de metabólitos que alteram a palatabilidade do produto (Milne *et al.*, 2014).

O processo de deterioração nos peixes é bem conhecido, ocorrendo a degradação autolítica das enzimas, seguida de ação microbiana e finaliza com a rejeição sensorial do produto (Zhang *et al.*, 2020). Algumas espécies, após o abate, elevam rapidamente o pH e apresentam características morfológicas desfavoráveis (escamas finas e frágeis), que podem acelerar a perda dos atributos de frescor (Chun *et al.*, 2014).

A espécie *Macrodon ancylodon* possui ampla distribuição geográfica e perspectiva econômica na América do Sul, especialmente na costa Norte e Nordeste do Brasil, onde é encontrada em abundância no período de safra e possui grande aceitação nos mercados locais, com destaque para a capital Belém-PA (Dias-Neto e Dias, 2015; Zamboni *et al.*, 2020).

Tendo em vista a importância comercial, as exigências de qualidade e a diminuição da perecibilidade, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de filés de *Macrodon ancylodon*, embalados em atmosfera modificada e armazenados sob refrigeração por meio de análise sensorial (protocolo QIM), microbiológicas e físico-químicas.

MATERIAL E MÉTODO

Matéria prima

Foram utilizados 180 peixes da espécie *Macrodon ancylodon* para a obtenção dos filés. Os peixes foram higienizados com 5 ppm de cloro, eviscerados e filetados com pele. Os filés com cerca de 95 g foram acondicionados individualmente em embalagens de poliamida com barreira para os gases.

Foi realizado teste preliminar para selecionar a melhor composição da atmosfera modificada (AM) utilizada nas embalagens dos filés de pescada gó (Tabela 1). A seleção foi realizada por meio do acompanhamento da composição gasosa e da contagem de bactérias psicrotróficas de três amostras por AM (C, V, G1, G2, G3), a cada cinco dias. Nesse teste, os filés embalados em atmosferas modificadas (EAM) foram mantidos a 2°C por 20 dias e comparados à amostra controle (C).

Tabela 1 – Composição das atmosferas modificadas utilizadas nas embalagens dos filés de pescada gó durante o teste preliminar

Tipos de AM	Composição
C	100% ar atmosférico
V	VÁCUO
G1*	50% CO ₂ /50% N ₂
G2*	60% CO ₂ / 40% N ₂
G3*	70% CO ₂ /30% N ₂

Fonte: Elaborado pelos autores.

Notas: *Proporção de 2:1 para a relação volume de gás e produto.

Estudo da vida de prateleira dos filés de pescada gó em atmosfera modificada

Após o teste preliminar, foram selecionados dois tipos de embalagens com atmosfera modificada para avaliar os parâmetros de qualidade dos filés durante a vida de prateleira. As EAM selecionadas e a amostra controle (C) foram armazenadas na mesma temperatura utilizada no teste preliminar (2°C). De cada tipo de embalagem (EAM e C), foram retiradas, de forma aleatória, cinco amostras a cada dois dias, sendo três para a avaliação sensorial e físico-química e duas para a análise microbiológica. Em todas as amostras, foi medido o espaço livre (% da composição gasosa).

Avaliação sensorial

O protocolo utilizado para desenvolver o Método de Índice de Qualidade (MIQ) dos filés de pescada gó EAM foi baseado na metodologia proposta por Sveinsdottir *et al.* (2003). Foram selecionados, por meio da aplicação de questionário, de 7 a 10 julgadores, que tinham melhor conhecimento dos parâmetros sensoriais que determinam o frescor dos peixes. Após a seleção, foi realizada uma sessão de esclarecimento sobre os fundamentos e princípios do método MIQ.

A obtenção do protocolo MIQ ocorreu em três fases com sessões e lotes distintos para cada fase. Cada sessão durou cerca de 1h e foi realizada no laboratório de Análise Sensorial, da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA/UFPA). Todos os julgadores utilizaram os equipamentos de proteção individual (EPI) necessários à atividade. Duas amostras de filés, escolhidas aleatoriamente, de cada tipo de atmosfera, foram utilizadas por sessão. As amostras foram colocadas em bandejas de cor clara, codificadas com números de três dígitos e sem informações do tempo de estocagem.

Na Fase 1, foram observadas e anotadas, nas fichas de avaliação, a cada 48 horas, todas as alterações sensoriais da amostra controle (C) e dos filés EAM, armazenados a 2°C. Nessa primeira fase, além do acompanhamento microbiológico, foram levantados os principais parâmetros sensoriais descritos e sugestões dos julgadores para a elaboração de uma versão consensual do protocolo MIQ inicial.

Na Fase 2, foi utilizado o protocolo MIQ inicial para avaliar os dois filés EAM selecionados e compará-los com a amostra controle. Nessa fase, o objetivo foi obter informações dos julga-

dores quanto às alterações dos atributos sensoriais detectados e, por concordância, obter uma versão final do protocolo MIQ.

Na Fase 3, foi obtido o Índice de Qualidade (IQ) dos filés EAM e da amostra controle (C) por meio da aplicação do protocolo MIQ final durante a vida de prateleira.

Avaliação físico-química

Foi medida a composição gasosa (% O₂ e CO₂) do espaço livre do interior das embalagens, utilizando analisador de gases Check Point (Marca DANSENSOR). A análise do pH foi realizada segundo a metodologia da AOAC (2020) e as Bases Voláteis Totais (N-BVT) de acordo com Brasil (2020). A perda por gotejamento (Drip loss) foi avaliada utilizando a metodologia de Gómez-Guillén . (2000) e os resultados foram expressos em porcentagem, calculados pela diferença entre os pesos inicial e final dos peixes. A quantificação de aminas biogênicas foi realizada de acordo com Lázaro de La Torre *et al.* (2013), utilizando HPLC equipado com detector de arranjo de iodo, pré-coluna Extrasil Tracer ODS2 (15 x 0,46 cm, 5 µm) e coluna Supelco Ascentis C18 (2 x 0,40, 5 µm), identificadas de acordo com os tempos de retenção e quantificadas a partir das áreas dos picos. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Avaliação microbiológica

Foram realizadas análises de coliformes a 45°C, Salmonella sp. e estafilococos coagulase positiva, na matéria prima (filés). Nos filés EAM e C, foram feitas contagens de bactérias mesófilas e psicotróficas em placas a cada cinco dias durante o teste preliminar e em intervalos de 48 horas durante a vida de prateleira dos filés. Todas as análises seguiram a metodologia descrita por Salfinger e Tortorello (2015) e foram realizadas em duplicata.

Análise estatística

Os resultados obtidos foram avaliados com o auxílio do programa XLSTAT para Windows, versão 2012, empregando análise de variância (ANOVA), teste de Tukey ao nível de 5% de significância e Regressão Linear Simples.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seleção dos tipos de atmosfera modificada

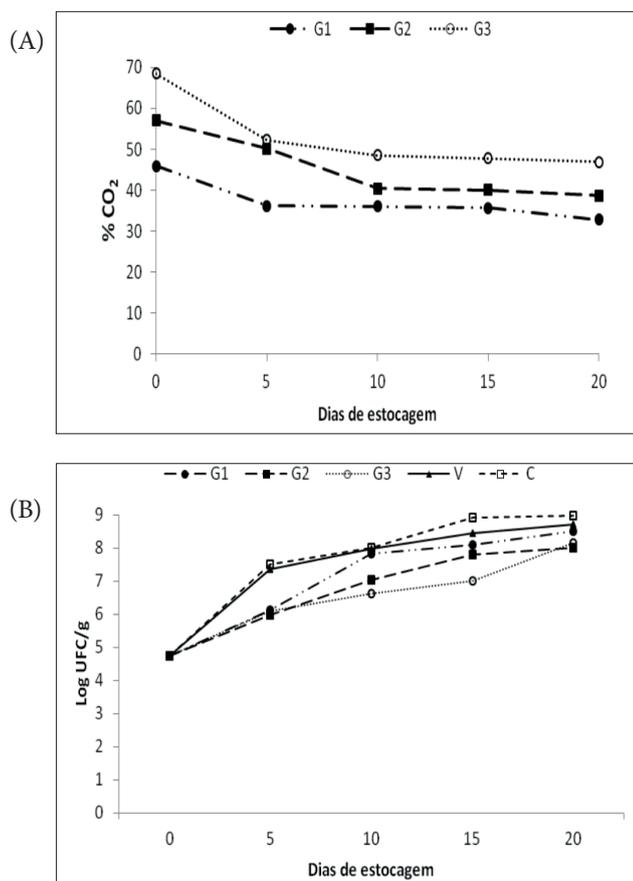
Os resultados do teste preliminar dos filés de pescada gó acondicionados nas diferentes atmosferas encontram-se nas Figuras 1A

PARÂMETROS DE QUALIDADE DE FILÉS DE PEIXE REFRIGERADOS E EMBALADOS SOB ATMOSFERA MODIFICADA

e 1B. Não foi observada variação significativa do percentual de O₂ nas embalagens com adição de gases durante o teste preliminar de 20 dias. A composição gasosa no espaço livre das embalagens diminuiu rapidamente até o 5º dia devido à dissolução do CO₂ na parte aquosa dos filés, mantendo-se constante até o final do armazenamento (Figura 1A).

Na Figura 1B, observa-se o crescimento lento das bactérias psicotróficas nos filés mantidos nas atmosferas do tipo G2 e G3 devido ao maior teor de CO₂ (Tabela 1). O G3 alcançou o limite máximo permitido de 7 log UFC/g da legislação internacional (ICMFS, 2005) para pescado refrigerado somente após 15 dias. O G2 se aproximou desse limite após 10 dias, e o G1, nesse mesmo tempo de armazenamento, ultrapassou o valor permitido na legislação. Isso ocorreu porque nos primeiros cinco dias de armazenamento houve dissolução do CO₂ no músculo, favorecendo a ação antimicrobiana desse gás, retardando o crescimento do número de microrganismos viáveis presentes nos filés (Kuuliala *et al.*, 2018; Antunes-Rohling *et al.*, 2019).

Figura 1 – (A) Composição gasosa das embalagens e (B) contagem de bactérias psicotróficas nos filés de pescada gó em diferentes tipos de AM. V = vácuo, G1 = 50% CO₂/50% N₂, G2 = 60% CO₂/40% N₂, G3 = 70% CO₂/30% N₂ e C = 100% ar atm.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O filé embalado a vácuo (V) apresentou comportamento semelhante ao observado na amostra controle (C), ultrapassando o limite em menos de cinco dias. O crescimento mais lento das bactérias psicotróficas nos filés mantidos nas atmosferas do tipo G2 e G3 foi determinante para sua seleção.

Avaliação sensorial dos filés de pescada gó

Os atributos considerados relevantes para avaliar o frescor dos filés mantidos sob refrigeração e que caracterizaram as alterações sensoriais ao longo do armazenamento foram elencados a partir de um consenso entre os nove julgadores (Tabela 2). Os parâmetros avaliados receberam até quatro descritores com pontos de déritos que variaram de 0 a 3. A textura foi o único parâmetro que variou apenas de 0 a 1 devido a frágil estrutura do músculo das espécies da família Sciaenidae.

A Figura 2 mostra a perda de frescor dos filés G2 e G3 durante o armazenamento, resultado obtido pela soma das pontuações das alterações observadas durante a aplicação do protocolo MIQ. A evolução do Índice de Qualidade (IQ) para o G2 e G3, assim como para as amostras C, encontra-se altamente correlacionada ($R^2 \geq 1$) com o tempo de armazenamento.

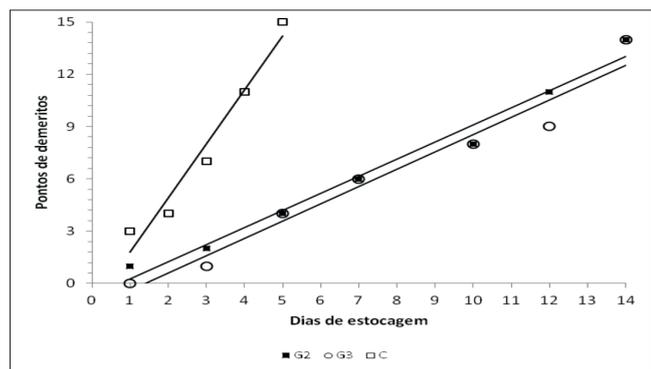
As equações lineares para os filés foram expressas em IQ (G2) = $0,9824 \times \text{dias} - 0,7261$ ($R^2 = 0,9793$) e IQ (G3) = $0,9948 \times \text{dias} - 1,39$ ($R^2 = 0,9598$). O comportamento linear do IQ foi significativo ($p \leq 0,05$). No primeiro dia de armazenamento, o G2 e G3 obtiveram baixos IQ, sendo que os filés embalados com 70%CO₂/30%N₂ (G3) apresentaram maior índice de frescor, iniciando com IQ igual a 0. No entanto, no final do armazenamento, ambos atingiram igual soma dos pontos de escore (IQ = 14), que foi próximo da pontuação máxima do protocolo.

Tabela 2 – Protocolo MIQ desenvolvido para os filés de pescada go embalados em atmosfera modificada (EAM) e mantidos sob refrigeração (2°C).

Parâmetros	Descrição das características	Pontos de deméritos
Cor (lombo)	Bege, branco, brilhante	0
	Ligeiramente opaco, pouco amarelado a levemente rosado	1
	Amarelado, bege opaco, acinzentado	2
Cor (aba/borda)	Azulado, brilhante	0
	Cor leitosa, esbranquiçado	1
	Acinzentado ou acastanhado	2
Pele	Brilhante, coloração característica	0
	Perda do brilho e coloração	1
	Opaca	2
Muco	Ausência	0
	Claro, transparente e fino	1
	Ligeiramente viscoso	2
	Muito viscoso, aspecto lácteo	3
Odor	Fresco, alga marinha	0
	Neutro, não fresco	1
	Levemente leite azedo	2
	Levemente pútrido, amoniacal	3
Textura	Ligeiramente mole	0
	Mole	1
Disposição das fibras musculares	Sem aberturas	0
	Poucas aberturas (< 25%)	1
	Aberturas leve (25 - 75%)	2
Índice de Qualidade		0-15

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2 – Correlação linear entre dias de armazenamento em gelo e o Índice de Qualidade (IQ) para filés de pescada gó EAM G2 = 60%CO2/40%N2, G3 = 70% CO2/30% N2 e C= 100% atm.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O tipo de atmosfera modificada influenciou no IQ durante o armazenamento, principalmente nos parâmetros de qualidade, tais como muco, cor da borda (aba) e odor. A elevada exsudação dos filés embalados com maior quantidade de CO2 (G3) favoreceu a alteração do muco do produto. Em G2 foi observada alteração da cor e odor, influenciando na evolução

do IQ, provocada pela degradação das proteínas musculares e dos pigmentos, favorecida pelo crescimento de microrganismos deterioradores que aceleram o escurecimento, opacidade e odor nos filés (Chaix *et al.*, 2015)

O final da vida útil dos filés geralmente é determinado quando as alterações sensoriais tornam-se evidentes e a maioria dos julgadores consegue detectá-las (Santos *et al.*, 2018). A estabilidade comercial do G2 foi mantida até o 10º dia, e para o G3 essa percepção foi alcançada no 12º dia.

Todos os parâmetros estudados apresentaram tendência ascendente durante o período de armazenamento. No entanto, o muco, a cor da borda (aba) e o odor foram os parâmetros que progrediram mais rapidamente, apresentando crescente tendência linear e alta correlação ($R > 0,90$) com o período de armazenamento a 2°C. Os parâmetros com baixa linearidade foram a textura e disposição das fibras, principalmente devido à frágil estrutura do músculo da espécie *M. ancylodon* e à variação do manuseio durante a filetagem.

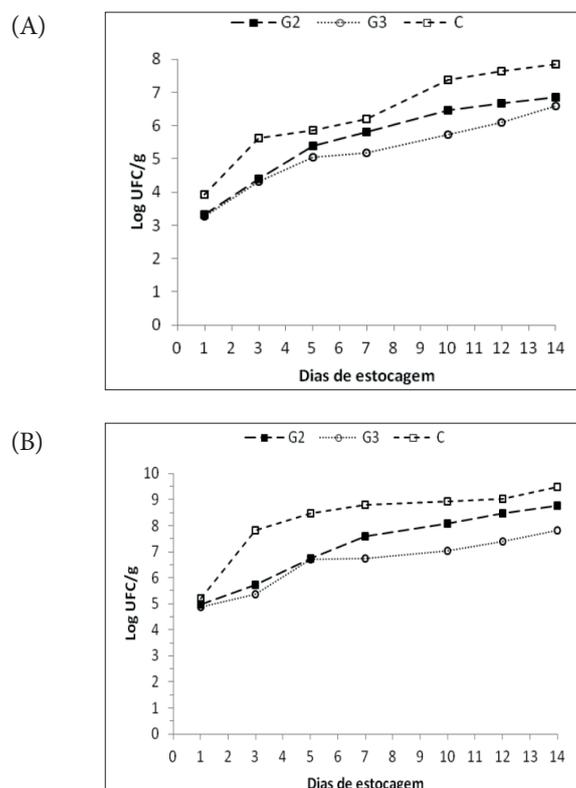
A evolução do IQ dos produtos ao longo do tempo obteve melhor correlação linear do que com os parâmetros individuais analisados, demonstrando que o protocolo MIQ desenvolvido

para filé de pescada gó EAM pode ser utilizado na avaliação de diferentes tipos de produtos embalados em AM.

Avaliação microbiológica dos filés de pescada gó

Na matéria prima, filés de pescada gó, a contagem de estafilococos coagulase positiva apresentou resultado inferior ao limite de 103 UFC/g e ausência de *Salmonella* spp em todas as amostras analisadas, estando de acordo com a legislação brasileira vigente (Brasil, 2022). A análise de coliformes a 45°C também apresentou baixa contagem (3,6 - 75 NMP/g), indicando não ter ocorrido contaminação no local de captura e na manipulação dos peixes. Nas Figuras 3A e 3B, encontram-se os resultados das contagens de bactérias heterotróficas aeróbias mesófilas e psicrotróficas, respectivamente, nos filés EAM e C durante a estocagem.

Figura 3 – (A) Composição gasosa das embalagens e (B) contagem de bactérias psicrotróficas nos filés de pescada gó em diferentes tipos de AM. V = vácuo, G1 = 50% CO₂/50% N₂, G2 = 60% CO₂/40% N₂, G3 = 70% CO₂/30% N₂ e C = 100% ar atm.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O limite máximo permitido pela ICMFS (2005) para contagem padrão de placas de aeróbios mesófilos e psicrotróficos em pescado refrigerado é de 7 log UFC/g. Os resultados das contagens das bactérias mesófilas nos filés G2 e G3 não atin-

giram esse limite, e o C somente a partir do 10º dia (Figura 3A). Os resultados mostram que os filés foram processados em condições higiênicas adequadas e com eficiente controle da temperatura (2°C) durante o armazenamento. Sousa *et al.* (2015) relataram que valores de bactérias mesófilas superiores a 6 log UFC/g em peixes são considerados críticos e estão relacionados à diminuição do frescor e alterações nas características sensoriais. Essa alteração foi percebida no G2 no 10º dia devido à mudança na cor do músculo e presença de muco, enquanto que no G3, mesmo após 12 dias de armazenamento, o filé ainda apresentava frescor aceitável, indicando variações tardias dessas características sensoriais.

Na Figura 3B, observa-se que as contagens de bactérias psicrotróficas ultrapassam 7 log UFC/g antes do 7º dia no G2 e a partir do 10º dia no G3, sendo considerados impróprios para o consumo humano. A deterioração de peixes por bactérias psicrotróficas apresenta mudanças significativas no odor, textura e cor quando armazenados em baixas temperaturas (Soares *et al.*, 2011).

As bactérias psicrotróficas não-proteolítica, como o *Clostridium botulinum* tipo E, têm a capacidade de crescer e produzir toxinas em produtos de pescado embalados em condições anaeróbias e baixas temperaturas (≤ 3 °C) (Velu *et al.*, 2013). Portanto, é necessário existir um controle rigoroso de temperatura para garantir a segurança e vida de prateleira desses produtos (Sousa *et al.*, 2015).

Os resultados das análises microbiológicas revelaram que a vida útil da amostra controle (C) foi menor que três dias. No entanto, os filés armazenados em atmosfera modificada (EAM) apresentaram uma vida útil mais longa, com seis dias para o grupo G2 (60% CO₂ / 40% N₂) e dez dias para o grupo G3 (70% CO₂ / 30% N₂).

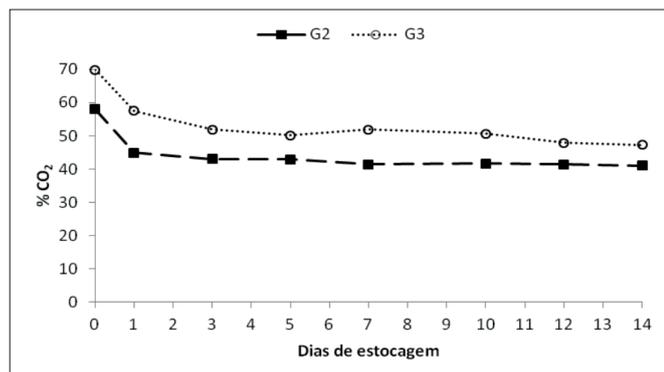
A extensão do prazo de estabilidade comercial dos filés G2 e G3 está relacionada aos efeitos bacteriostáticos do CO₂, uma vez que os microrganismos apresentaram crescimento mais lento durante todo o período de armazenamento, semelhante ao observado em estudos realizados por Babic *et al.* (2015) para filés de carpa (*Cyprinus carpio*) e por Alice *et al.* (2020) para filés de sardinha.

Avaliação físico-química dos filés de pescada gó

Os resultados da composição gasosa dos filés G2 e G3 encontram-se na Figura 4. No primeiro dia de armazenamento, ocorreu elevada dissolução do CO₂ na fase aquosa do músculo dos filés até atingir o equilíbrio dentro da embalagem. No G3, ocorreu declínio do CO₂ até o 3º dia devido a sua maior quantidade. Em seguida, os níveis de CO₂ nos G2 e G3 apresentaram tendências semelhantes e constantes de diminuição

com o tempo de armazenamento (Cyprian *et al.*, 2013). Não foi observada diferença nos níveis de O₂ medidos na composição gasosa de ambos, com nível médio de 1,2% durante o armazenamento.

Figura 4 – Mudanças na composição gasosa do espaço livre das embalagens de atmosfera modificada nos filés de pescada gó armazenados a 2°C.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 3, estão os resultados da avaliação físico-química dos filés EAM armazenados sob refrigeração (2°C). Os valores de pH se mantiveram dentro do limite estabelecido pela legislação brasileira de 6,5-6,8 (Brasil, 2020) somente no início do armazenamento. Os filés G2 e G3 apresentaram diferença ($p \leq 0,05$) apenas no último dia de armazenamento (14º dia). Os valores de pH aumentam durante a estocagem devido ao acúmulo de N-BVT, alterações nas reações bioquímicas, ação de enzimas presentes no músculo provenientes de atividades autolíticas e a quantidade de microrganismos viáveis, causando alterações sensoriais indesejáveis nos peixes (Gonçalves, 2011; Gonçalves *et al.*, 2015).

Tabela 3 – Resultados das análises físico-químicas dos filés de pescada gó G2 (50% CO₂/50%N₂) e G3 (60%CO₂/40%N₂).

Análises	Dias de estocagem						
	1	3	5	7	10	12	14
pH G2	6,73 ^c	7,06 ^d	7,20 ^{c,d}	7,37 ^c	7,97 ^b	8,06 ^b	8,27 ^a
pH G3	6,70 ^c	6,96 ^d	7,20 ^c	7,21 ^c	7,78 ^b	7,84 ^b	8,13 ^a
N-BVT G2 (mg N/100g)	11,56 ^e	13,34 ^{d,e}	19,21 ^d	19,92 ^d	40,73 ^c	59,97 ^b	74,96 ^a
N-BVT G3 (mg N/100g)	11,38 ^f	13,34 ^{e,f}	17,43 ^{d,e}	17,68 ^d	35,04 ^c	45,13 ^b	72,04 ^a
Aminas biogênicas (mg/kg) em G3							
Histamina	0,00 ^a	0,03 ^a	0,15 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,17 ^a	1,39 ^b
Tiramina	2,65 ^b	2,14 ^b	2,05 ^b	5,51 ^c	1,35 ^b	1,70 ^b	0,00 ^a
Putrescina	0,09 ^c	0,01 ^c	1,41 ^c	0,35 ^c	17,99 ^b	10,34 ^b	33,57 ^a
Cadaverina	0,06 ^b	0,18 ^b	0,31 ^b	0,04 ^b	0,25 ^b	0,30 ^b	1,38 ^a
Espermidina	0,10 ^b	0,08 ^b	0,00 ^b	0,08 ^b	1,11 ^a	0,04 ^b	1,86 ^a
Espermina	0,04 ^b	0,03 ^b	0,52 ^b	0,09 ^b	2,26 ^a	0,24 ^b	0,05 ^b

Fonte: Elaborado pelos autores.

Notas: *Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$).

Os resultados de N-BVT foram afetados pela atmosfera utilizada, ou seja, a mistura de gás com menor teor de CO₂ (G2) apresentou maiores valores de N-BVT, com diferença ($p \leq 0,05$), aumentando a partir do 7º dia progressivamente até o 14º dia, com boa correlação linear e valores de R² (G2) = 0,90 e R² (G3) = 0,85.

Os valores de N-BVT apresentaram tendência crescente durante o período de armazenamento devido ao crescimento de bactérias heterotróficas mesófilas e psicotróficas (Babic *et al.*, 2015). A partir do 10º dia, os filés já apresentavam teores de N-BVT acima do limite estabelecido pela legislação brasileira de 30 mg N/100 (Brasil, 2020) com diferença ($p \leq 0,05$) entre os dias do armazenamento (Tabela 3). O N-BVT dos filés em atmosfera modificada foi considerado um bom indicador de frescor, compatível com outros parâmetros de avaliação, como a aceitação sensorial e contagem de bactérias mesófilas e psicotróficas.

A determinação de aminas em alguns peixes pode ser utilizada como bom marcador e potencial de toxicidade, pois algumas aminas podem potencializar a toxicidade da histamina (Visiano *et al.*, 2020). A análise de aminas bioativas foi realizada apenas para o filé G3 que obteve o maior tempo de vida útil em comparação a avaliação sensorial e microbiológica (Tabela 3). E a putrescina foi a amina que apresentou teor mais elevado. A putrescina, a tiramina e a histamina apresentaram diferença ($p \leq 0,05$) no final do armazenamento (14º dia) e a espermina no início (10º dia).

A presença de aminas no início do armazenamento, como a tiramina, sugere atividade enzimática de origem microbiana (FAO/OMS, 2012; Visciano *et al.*, 2020). No entanto, ao longo do armazenamento, foi observada uma diminuição acentuada da tiramina, atribuída ao efeito bacteriostático do CO₂, quando esse gás é dissolvido no músculo dos filés e retarda o crescimento microbiano (Cunha *et al.*, 2013).

No 10º dia de armazenamento, foram detectados valores elevados para a putrescina, espermina e espermidina nos filés G3, porém apresentaram rejeição sensorial na percepção dos julgadores somente no 14º dia. Isso pode ser explicado devido à elevada presença da putrescina, indicando peixe de baixa qualidade. O aparecimento de aminas bioativas antecedeu a detecção dos sinais sensoriais, os quais indicam a deterioração do pescado, o que confere a esse parâmetro a possibilidade de ser utilizado como critério para monitorar o frescor ou degradação do alimento.

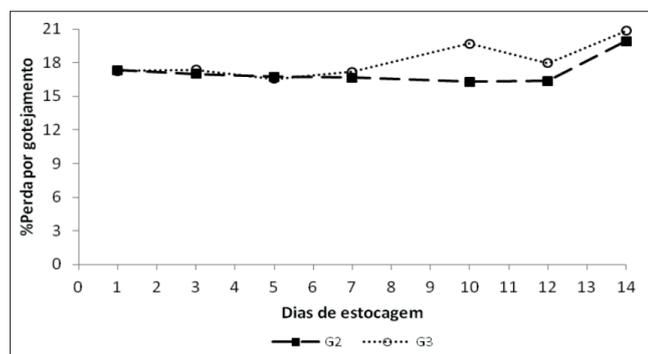
Em embalagens com atmosfera modificada, observa-se maior perda por gotejamento (formação de exsudados) devido

PARÂMETROS DE QUALIDADE DE FILÉS DE PEIXE REFRIGERADOS E EMBALADOS SOB ATMOSFERA MODIFICADA

à dissolução do CO₂ que ocorre no filé e diminui a capacidade do músculo em reter água (Opara *et al.*, 2022).

Na Figura 5, nota-se que os filés G3 apresentam valores mais elevados para a perda por gotejamento devido ao maior teor de CO₂. Somente no 10º dia de estocagem, foi observada diferença ($p \leq 0,05$) entre os filés. Após o 12º dia, houve elevada formação de exsudados pelo aumento da perda de água por gotejamento, que foi maior no G3 durante o armazenamento.

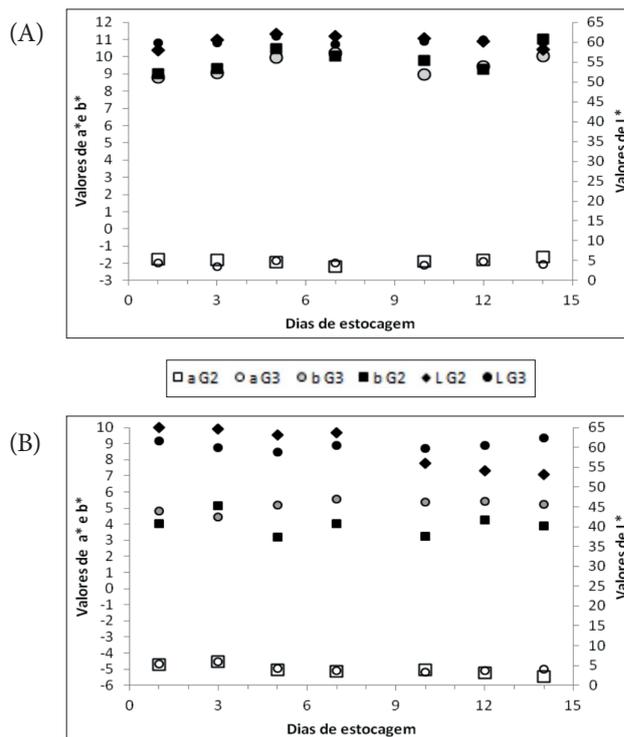
Figura 5 – Perda por gotejamento (%) durante estocagem a 2°C dos filés (G2 e G3) de *M. ancylodon* embalados em atmosfera modificada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Além da presença de exsudado ser um fator que influencia na escolha de alimentos sob diferentes atmosferas, a cor também é uma característica determinante e está associada diretamente ao frescor, podendo levar a rejeição do produto. Durante os 14 dias de armazenamento, foi observada diferença ($p \leq 0,05$) na luminosidade (L^*) entre os filés (Figura 6B). Esse resultado foi devido ao escurecimento observado nos filés G2, o que resultou em uma redução nos valores de L^* . Durante o armazenamento, as tendências dos parâmetros a^* e b^* dos filés foram semelhantes. Os valores de a^* apresentaram uma diminuição em relação ao valor inicial, indicando uma intensificação na tonalidade verde. Já o parâmetro b^* nos filés G3 mostrou aumento ao longo do tempo, tornando-os mais amarelados. A pele dos filés G2 e G3 (Figura 6A) não apresentou variação significativa ao longo do armazenamento para esses parâmetros.

Figura 5 – Parâmetros de cor L^* , a^* e b^* da pele (A) e lombo (B) dos filés de G2 e G3.



Fonte: Elaborado pelos autores.

De forma geral, a avaliação da cor instrumental não se mostrou tão sensível quanto à avaliação sensorial realizada pelos julgadores, que notaram as mudanças ocorridas ao longo da estocagem dos dois produtos.

CONCLUSÃO

Na avaliação sensorial do filé de *Macrodomum ancylodum* (G2), foram observadas mudanças na cor e no odor de acordo com os julgadores. No filé G3, ocorreu maior exsudação e alterações no aspecto do muco. A avaliação instrumental da cor não se mostrou tão sensível quanto à sensorial realizada pelos julgadores. O aumento do pH nos filés G2 e G3 apresentou diferenças significativas no décimo dia de armazenamento devido à presença de N-BVT acima do limite estabelecido pela legislação. Nesse período, também foi observado que o G3 apresentou características de disfunção devido ao aumento da quantidade de amina putrescina.

Os efeitos bacteriostáticos do CO₂ foram evidentes até o décimo dia para o G3 e até o sexto dia para o G2. Por outro lado, a amostra controle ultrapassou o limite de contagem de bactérias estabelecido pela legislação no terceiro dia. Dessa forma, conclui-se que a embalagem em atmosfera modificada com a mistura gasosa de CO₂ e N₂ prolongou a vida de prateleira dos filés de *M. ancylodon* devido à conservação

das características de qualidade por um período maior de armazenamento.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará - UFPA.

REFERÊNCIAS

AOAC. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 17th ed. Gaithersburg, Maryland, USA: AOAC, 2020.

ANTUNES-ROHLING, A.; CALERO, S.; NABIL HALAIHEL, N.; MARQUINA, P.; RASO, J.; CALANCHE, J.; BELTRÁN, J.A.; ÁLVAREZ, I. *Characterization of the Spoilage Microbiota of Hake Fillets Packaged Under a Modified Atmosphere (MAP) Rich in CO₂ (50% CO₂/50% N₂) and Stored at Different Temperatures*. *Foods*, v. 8, n.10, p. 489, 2019.

BABIC, J.; MILIJASEVIC, M.; VRANIC, D.; VESKOVIC-MORACANIN, S.; DJINOVIC-STOJANOVIC, J. Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of common carp (*Cyprinus carpio*) steaks. *Procedia Food Science*, v. 5, p. 2-5, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Métodos Oficiais para Análise de Produtos de Origem Animal/ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: MAPA, 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Decreto Nº 10.468, de 18 de agosto de 2020. Edição 159, Seção 1, Página 5. Publicado em 19/08/2020. Inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2020.

CYPRIAN, O.; LAUZON, H. L.; JOHANNSSON, R.; SVEINSDOTTIR, K.; ARASON, S.; MARTINSDOTTIR, E. Shelf life of air and modified atmosphere-packaged fresh tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets stored under chilled and superchilled conditions. *Food Science and Nutrition*, v. 1, n. 2, p. 130-140, 2013.

DIAS-NETO, J. DIAS, E.O. *O uso da biodiversidade aquática no Brasil: Uma avaliação com o foco na pesca*. Brasília: IBAMA.

2015. 288p.

FERNÁNDEZ, K.; ASPÉ, E.; ROECKEL, M. Scaling up parameters for shelf-life extension of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) fillets using superchilling and modified atmosphere packaging. *Food Control*, v. 21, n. 6, p. 857-862, 2010.

GOMEZ-GUILLEN, M. C.; MONTERO, P.; HURTADO, O.; BORDERIAS, A. J. Biological characteristics affect the quality of farmed Atlantic salmon and smoked muscle. *Journal of Food Science*, v. 65, n. 1, p. 53–60, 2000.

GONÇALVES, A. A. *Tecnologia do Pescado: Ciência, Tecnologia, Inovação e Legislação*. Ed. Atheneu Rio, Rio de Janeiro, 2011. 593p.

GONÇALVES, A. A.; LIMA, J. T. A. X.; PAULA, F. E. R. Development of Quality Index Method (QIM) scheme for spiny lobster (*Panulirus argus*, Latreille, 1804) stored in ice. *Food Control*, v. 47, p. 237-245, 2015.

ICMSF. (2005). *Internacional Commission on Microbiological Specifications for Foods. Microorganisms in Foods 6: Microbiological Ecology of Food Commodity* (2nd ed.). New York: Kluwer Academic, (Chapter 3).

KUULIALA L., HAGE Y.A.I., IOANNIDID A.G., SADER M., KERCKHOF F.M., VANDERROOST M., BOON N., DE BATES B., DE MAULENAER B., RAGAERT P., DEVLIEGHERE F. Microbiological, chemical and sensory spoilage analysis of raw Atlantic cod (*Gadus morhua*) stored under modified atmospheres. *Food Microbiology*, v. 70, n. 232–244, 2018.

LÁZARO DE LA TORRE, C. A.; CONTE-JUNIOR, F. L.; CUNHA, E. T.; MARSICO, S. B.; MANO, R. M.; FRANCO, C. A. Validation of an HPLC methodology for the identification and quantification of biogenic amines in chicken meat. *Food Analytical Methods*, v. 6, p. 1024–1032, 2013.

MILNE, D.; POWELL, S. M. Limited microbial growth in Atlantic salmon packed in a modified atmosphere. *Food Control*, v. 42, p. 29-33, 2014.

POWELL, S.M., RATKOWSKY, D.A., TAMPLIN, M.L. Predictive model for the growth of spoilage bacteria on modified atmosphere packaged Atlantic salmon produced in Australia. *Food Microbiology*. v. 47, p.111-115, 2015.

- SALFINGER Y., TORTORELLO M.L. **Compendium of methods for the microbiological examinations of foods**, APHA. 2015.
- SVEINSDOTTIR, K.; HYLDIG, G.; MARTINSDÓTTIR, E. Quality Index Method (QIM) scheme developed for farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Food Quality and Preference**, v. 14, p. 237-245, 2003.
- SOUZA, L.B. de; MOURA, A.A.C.; SILVA, J.B.A. Embalagens para alimentos: tendências e inovações. **Higiene Alimentar**, p. 25-29, 2017.
- SUN, B.; ZHAO, Y.; LING, J.; YU, J.; SHANG, H.; LIU, Z. The effects of superchilling with modified atmosphere packaging on the physicochemical properties and shelf life of swimming crab. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 7, p. 1809-1817, 2017.
- VIANA, A. P.; INHAMUNS, A. J.; OLIVEIRA, P. R. S.; LOBO L.C. Efeito da embalagem com atmosfera modificada na conservação do *Brycon amazonicus*. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 42, n. 1, p. 17-28, 2016.
- PINO HERNÁNDEZ, E.J.G.; CARVALHO, R.N.; PEIXOTO JOELE, M.R.S.; ARAÚJO, C.S.; LOURENÇO, L.F.H. Effects of modified atmosphere packing over the shelf life of *sous vide* from captive pirarucu (*Arapaima gigas*). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 39, p. 94-100, 2017.
- CHUN, H. N.; KIM, B.; SHIN, H. S. Evaluation of a freshness indicator for quality of fish products during storage. **Food Science and Biotechnology**, v. 23, n. 5, p. 1719-1725, 2014.
- CHAIX, E.; COUVERT, O.; GUILLAUME, C.; GONTAR D, N.; GUILLARD, V. Predictive microbiology coupled with gas (O₂/CO₂) transfer in food/packaging systems: How to develop an efficient decision support tool for food packaging dimensioning. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety** v.14, p. 1-21, 2015.
- SANTOS, T.T.; PIRES, C.R.F.; MARTINS, G.A.S.; COELHO, A. E.S. Estabilidade da caranha em diferentes períodos de armazenamento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 4, p. 1316-1324, 2018.
- SOUSA, C.L.L.; FREITAS, J.A.; LOURENÇO, L.F.H.; ARAUJO, E.A.F.; PEIXOTO JOELE, M.R. Products, Ice and Water: Risk Factors in a Fishing Company from the Amazon Region. **Food and Public Health**, v. 5, n. 6, p. 220-228. 2015.
- SOARES, V.M.; PEREIRA, J.G.; IZIDORIO, T.B.; MARTINS, O.A.; PINTO, J.P.A.N.; BIONDI, G.F. Qualidade Microbiológica de Filés de Peixe Congelados Distribuídos na Cidade de Botucatu SP. **UNOPAR Científica. Ciências Biológicas e Saúde**, v. 13, n. 2, p. 85-88, 2011.
- VELU, S.; ABU BAKAR, F.; MAHYUDIN, N. A.; SAARI, N.; ZAMAM, M. Z. Effect of modified atmosphere packaging on microbial flora changes in fishery products. **International Food Research Journal**, v. 20, n. 1, p. 17-26, 2013.
- ALICE, E.J., AMANULLAH, M., KARIM, M.A., HOSSAIN, M.A. AND ISLAM, M.T Effects of vacuum and modified atmosphere packaging on the biochemical and microbiological quality of sliced goonch fish (*Bagarius bagarius*) stored at refrigerated condition. **Food Research**, v. 4, n. 6, p. 2256- 2264, 2020.
- VISCIANO, P; SCHIRONE; M.; PAPARELLA, A. An Overview of Histamine and Other Biogenic Amines in Fish and Fish Products. **Foods**, v. 9, n. 12, p. 1795, 2020.
- FAO/OMS (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura/Organização Mundial de Saúde). *Riscos para a saúde pública da histamina e de outras aminas biogénicas provenientes de peixes e produtos da pesca. Relatório de Reunião*; Sede da FAO: Roma, Itália, 2012.
- CUNHA, F. L.; MONTEIRO, M. L. G.; JÚNIOR, C. A. C.; DE LA TORRE, C. A. L.; SANTOS, ÉRICA B.; VITAL, H. DE C.; MÁRSICO, E. T.; MANO, S. Determinação e monitorização de aminas biogénicas por filetes de cromatografia líquida de alta eficiência de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) tratados a frio com atmosfera modificada embalada e irradiação. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária**, v.35, n. 3, p. 275- 282, 2013.
- OPARA, U.L.; FADIJI, T.; CALEB, O.J.; OLUWOLE, A.O. Effects of Modified Atmosphere Packaging, Storage Temperature, and Absorbent Pads on the Quality of Fresh Cape Hake Fish Fillets. **Coatings** v. 12, p. 310, 2022.
- ZAMBONI, A.; DIAS, M.; IWANICKI, L. (org). Auditoria da Pesca: Brasil 2020 - uma avaliação integrada da governança, da situação dos estoques e das pescarias 1.ed., Brasília: Oceana Brasil, 2020. 64p.
- ZHANG, C.; ZHANG, Y.; LUAN, D.; QU, Y.; FAN, Y.; LAI, K. Changes in biogenic amines and total volatile base nitrogen in *Gonatopsis borealis* muscle during storage. **Journal of Food Measurement and Characterization**. v. 14, p.106-113, 2020.